

第四節 徑路探測網路分析之相關研究

知識結構是當代認知心理學的關心主題，而測量知識結構的方法很多，如：晤談法、分類法、圖解法和量尺法，皆各有其特色和限制，本研究則基於實徵分析的需要，因此決定選擇量尺法最為恰當，「量尺法」又可分為多元度量法（multidimensional scaling，簡稱 MDS）、群集分析（cluster analysis）和徑路探測網路分析（pathfinder network）等三種（江淑卿，民 86），而本研究選用徑路探測網路分析，透過量尺化程序分析專家的知識結構，建立專家系統，透過電腦輔助教學，幫助生手（學生）獲得專家（教師）的知識結構或引導生手（學生）模仿專家（教師）的學習策略。

徑路探測網路分析開始多應用於實驗室研究，近年來逐漸運用於教育心理學領域，其重點在於對知識結構作測量，利用量尺化程序分析專家的知識結構，建立專家系統，並試圖將所測得的知識結構運用於教學上，以幫助生手獲得專家的知識結構或學習專家的策略。

徑路探測網路是由一組概念，以節點和鍊結相互連接的網路結構。鍊結(link)有鍊值(weight 或 value)，但沒有命名，鍊結可包括非直接鍊(edge)（或對稱鍊），和直接鍊(arc)（或非對稱鍊），其中以最接近的非直接鍊為主。鍊結的特色就是能掌握知識結構中概念與概念之間的關係，並能藉此瞭解哪些鍊結間的關係較重要，但因鍊結沒有命名，所以在閱讀圖解時，較難能直接瞭解其結構型式（江淑卿，民 86；Schvaneveldt,1990）。依據網路模式和圖解理論，發展徑路探測量尺化算則，算則運算時須設定兩個參數 r 和 q 之值，方能用來建構和分析知識結構，將接近性矩陣作轉換，求得各相似性指數（GTD、PRX、PFC）的數值及徑路探測網路圖解。在本研究中，採用知識網路組織工具（KNOT）來分析知識結構，並將算則參數 r 設為 ∞ ，參數 q 設定為 $n-1$ 。

(一) 徑路探測網路的理論基礎

在概念上，徑路探測網路因受網路模式的影響，主要以 Collins 和 Loftus 的擴散促動模式和 Anderson 的 ACT 模式為理論基礎，假設鍊結沒有命名，以特定的強度或鍊值，表示語意相關的程度，同時鍊值也能預測學習表現（江淑卿，民 86；Jonassen et al., 1993）。

在統計上，徑路探測網路是以圖解理論為基礎，所謂的圖解（graph）乃是指以數學的形式（mathematical formalism）來作科學與心理現象的表徵。此外，徑路探測網路又透過圖解理論的心理相似性計算理論，運算出徑路探測網路的相似性係數值，此相似性係數矩陣所構成的網路模式具有三點特性（江淑卿，民 86；Jonassen et al., 1993）：

- (1) 語意的相似性矩陣，即相當於網路的接近性矩陣（adjacency matrix）。
- (2) 計算節點之間的語意距離。
- (3) 透過限制鍊的距離，以減少鍊的數目。

(二) 徑路探測網路的分析過程

徑路探測網路測量知識結構的過程，大致可分為三個步驟：(1) 知識結構的引發；(2) 知識結構的構成；(3) 知識結構的評價。

(1) 知識結構的引發

透過判斷各概念間的相似性、相關性或心理距離，可獲得接近性矩陣（proximity matrix，簡稱 PRX），在概念上可定義為完全網路（complete network），可稱為資料網路（DATANET）。當網路上有 n 個節點，且每個節點間都有連結時，則會產生 $(n * n - n) / 2$ 個鍊結（江淑卿，民 86；Schvaneveldt,

1990)。

(2) 知識結構的構成

在徑路探測之完全網路中，以最短長度的徑路 (minimum-length path) 為兩節點間之距離 (Schvaneveldt, 1990)。舉例說明相似性值轉換為徑路探測網路的情形，如圖 2-9 所示。

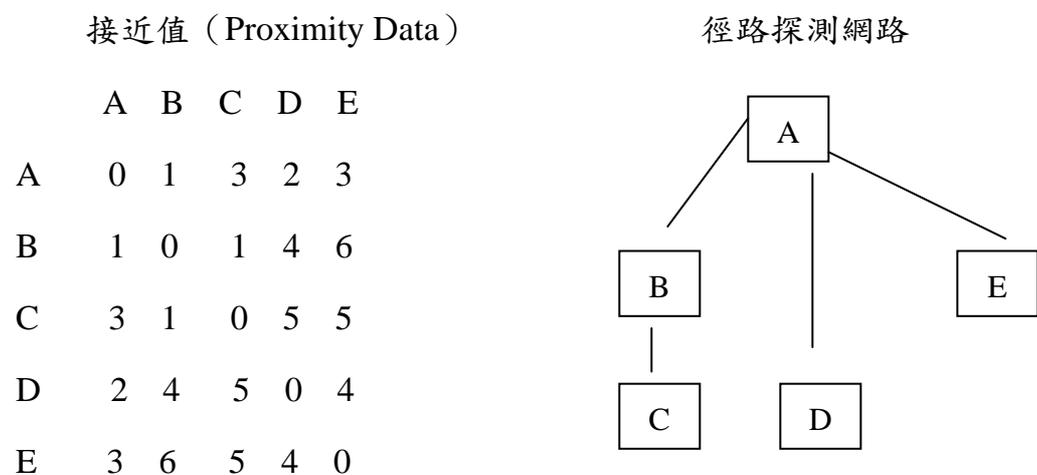


圖 2-9 假設的接近值及其非等級化之徑路探測網路

(資料來源：Goldsmith et al.,1991)

首先，當非直接鍊的接近值小於直接鍊的接近值時，則保留非直接鍊，並淘汰直接鍊，如：A 至 B 至 C 之間的接近值，小於 A 至 C 的接近值，故保留 A 至 B 至 C 的非直接鍊，而淘汰 A 至 C 的直接鍊。

其次，當直接鍊的接近值小於非直接鍊的接近值時，才可以取代非直接鍊，如：由 A 至 B 至 C 至 D、由 A 至 B 至 D 或由 A 至 E 至 D 的接近值都大於 A 至 D 的接近值，故增加 A 至 D 的直接鍊，而淘汰其他的非直接鍊，相同的，增加 A 至 E 之直接鍊的道理亦同。

圖解理論距離 (graph-theoretic distance, 簡稱 GTD), 係指最小鍊結數或最短的徑路探測網路中的節點距離, 亦即是透過算則將徑路探測網路的鍊值, 轉換為圖解理論距離, 並且以距離向量呈現。Knoebel, Dearholt & Schvaneveldt (1988) 曾對「徑路探測網路」和「圖解理論距離」何者為最適合 (fit) 真實的表徵提出說明: 徑路探測網路重視鍊值, 能掌握概念之間的接近性特質; 而圖解理論距離則重視概念的結構特質, 能掌握概念的空間型態, 換句話說, 二者皆有其特色 (江淑卿, 民 86)。

(3) 知識結構的評價

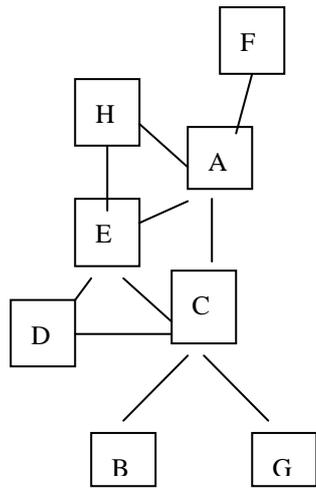
透過徑路探測網路可獲得圖解理論距離、徑路探測網路、接近性值, 然後進一步和參照結構 (referent structure) 相比較, 計算相似性指數: GTD 指數、PFC 指數和 PRX 指數。在參照結構方面, Acton, Johnson & Goldsmith (1994) 發現採用專家的團體參照結構效果最佳 (江淑卿, 民 86)。以下說明三種相似指數的意義:

1. GTD 指數 (圖解理論距離指數; graph-theoretic distance)

GTD 指數係指根據圖解理論的算則, 計算兩個徑路探測網路中圖解理論距離的相關, 以相關係數表示兩個網路的相似程度 (江淑卿, 民 86; Goldsmith & Davenport, 1990; Gonzalvo et al., 1994)。

茲舉一例說明 GTD 指數的計算, 計算兩個網路之 GTD 的相關, 以相關係數來表示兩個網路的相似性。GTD 指數的範圍由 0 (表示完全不同的網路) 到 1 (表示相同的網路); 當 GTD 指數的範圍愈小, 表示受試者與參照結構愈不相似, GTD 指數愈大表示受試者和參照結構愈相似。

網路一



網路二

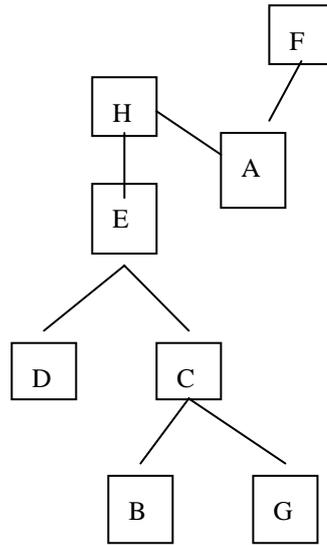


圖 2-10 網路圖解 (引自江淑卿, 民 86; Gomez et al.,1992)

表 2-6 網路一和網路二的部份 GTD (引自江淑卿, 民 86; Gomez et al.,1992)

	網路 1 的距離	網路 2 的距離
A-C	1	3
A-D	2	3
A-G	2	4

2. PFC 或 C 指數 (相似值; closeness)

PFC 指數係指根據集合理論 (set-theoretic) 方法, 計算兩個網路所共有的節點組 (set of nodes), 其鄰近節點的交集與聯集之平均比率, 表示兩個網路的相似程度。PFC 指數的範圍由 0 到 1; 當 PFC 指數愈小, 表示受試者和參照結構愈不相似; 反之, PFC 值愈大, 即表示愈相似。

亦舉一例說明, 並比較 GTD 指數與 PFC 指數:

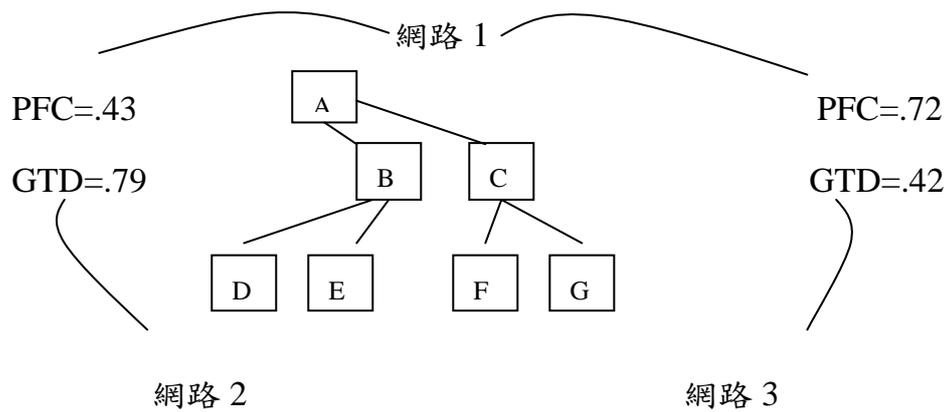


圖 2-11 網路 1 和兩個變形的網路 2、網路 3 (引自 Goldsmith et al.,1991)

由 PFC 指數判斷，則網路 1 和網路 3 比網路 1 和網路 2 更接近 (相似)；若由 GTD 值判斷，則網路 1 和網路 2 比網路 1 和網路 3 更接近 (相似)。

表 2-7 由圖 2-11 計算所得之 PFC 指數 (引自 Goldsmith et al.,1991)

共有節點	鄰近節點		節點交集		節點聯集		比率
	網路 1	網路 2	集合	大小	集合	大小	
A	{B,C}	{B,D,E}	{B}	1	{B,C,D,E}	4	1/4
B	{A,D,E}	{A,C}	{A}	1	{A,C,D,E}	4	1/4
C	{A,F,G}	{B,F,G}	{F,G}	2	{A,B,F,G}	4	2/4
D	{B}	{A}	U	0	{A,B}	2	0/2
E	{B}	{A}	U	0	{A,B}	2	0/2
F	{C}	{B}	{C}	1	{C}	1	1/1

G	{C}	{B}	{C}	1	{C}	1	1/1
---	-----	-----	-----	---	-----	---	-----

*比率總和為 3，C 值為 3/7=.43，U 表示空集合。

表 2-8 由圖 2-11 計算所得之 GTD 指數 (引自 Goldsmith et al.,1991)

節點	節 點						
	A	B	C	D	E	F	G
網路 1							
A	-	1	1	2	2	2	2
B		-	2	1	1	3	3
C			-	3	3	1	1
D				-	2	4	4
E					-	4	4
F						-	2
G							-
網路 2							
A	-	1	2	1	1	3	3
B		-	1	2	2	2	2
C			-	3	3	1	1
E				-	2	4	4
F					-	4	4
G						-	2

3.PRX 指數 (接近性指數；proximities)

PRX 指數係計算兩個網路接近性矩陣的相關，以相關係數表示兩個網路的相似程度。PRX 指數的範圍由 0 到 1；當 PRX 指數愈小，表示受試者和參照結構愈不相似；反之，則愈相似。

在徑路探測網路的研究中，經常使用 GTD、PRX、PFC 三種相似性指數來預測學習表現的效果，Gonzalvo,Canas 和 Bajio (1994) 發現三種指數都有不錯的預測效果，而 Goldsmith, et. al (1991)研究指出 PFC 指數的預測效果最佳，其次

是 GTD 指數，PRX 指數的預測效果較差。這可能是 PRX 屬於完全模式，較不容易精確的掌握鍊結之重要訊息所致（江淑卿，民 86）。

（三）知識網路組織工具

知識網路組織工具（KNOT）是由 Schvaneveldt 領導新墨西哥州立大學計算研究室，所研發出來的程式，主要是運用算則來建構、分析和評量徑路探測網路。以下簡單介紹 KNOT 在建構、分析和測量知識結構的重要功能（江淑卿，民 86）：

- （1）評定概念配對的接近性：首先，將概念確定，並將之兩兩配對，以隨機方式呈現給受試者評分，可由此獲得一接近值資料檔（proximity data files），亦即接近性數值（PRX），輸入 PRX 時即可採 similarities（表示得分愈高，距離愈近），或採 dissimilarities（表示得分愈高，距離愈遠）。
- （2）結合接近性資料檔：根據研究的需要，若分析團體的質料，可用 AVE 結合不同個人的接近性資料檔。
- （3）計算徑路探測網路：設定 r 和 q 參數值，將接近性矩陣轉換為 PFNETs。
- （4）計算圖解距離（即計算 GTD 之值）。
- （5）計算節點距離。
- （6）計算 C 值或 PFC 指數。
- （7）計算相關（Correlation）：若計算兩組接近性資料的相關，且包含其參照結構者，此相關係數即為 PRX 指數；若計算兩組圖解距離的相關，且亦包含其參照結構者，則此相關係數即為 GTD 指數。
- （8）呈現徑路探測網路圖解。

（四）徑路探測網路的運用範圍

徑路探測網路主要皆運用於知識結構的測量，但漸漸的亦被用在知識結構的教學上（江淑卿，民 86）：

（1）知識結構的測量

運用徑路探測網路模式測量知識結構的研究重點在：

- 1-1 分析知識結構與學習表現的關係。
- 1-2 分析知識結構的差異性。
- 1-3 探討教學對知識結構的改變效果。

（2）知識結構的教學

徑路探測網路模式運用於教學上，係透過量尺化的程序來分析專家的知識結構，建立專家系統，以幫助生手瞭解專家的知識結構，而進一步幫助生手增進其本身的知識建構。在知識的建構歷程中，有兩大策略：

- 1-1 閱讀概念構圖策略：此策略主要依心理表徵促動過程，讓生手閱讀專家的徑路探測網路圖解，以幫助生手學習專家的知識結構。
- 1-2 繪製概念構圖策略：此策略屬於統計式的圖解建構技術（statistical-based graph construction techniques），在生手瞭解專家的知識結構之後，亦由生手嘗試學習繪製專家的徑路探測網路圖解，在繪製過程中，可幫助生手進一步去思考其知識結構，有助於提昇理解能力。